

**CURRENT SENSOR**

Patent Number: JP7092199  
Publication date: 1995-04-07  
Inventor(s): NOZOE TOSHIYUKI; others: 02  
Applicant(s):: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD  
Requested Patent: ☒ JP7092199  
Application Number: JP19940176844 19940728  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G01R15/20 ; H01L43/08  
EC Classification:  
Equivalents:

**Abstract**

**PURPOSE:** To provide a high sensitivity current sensor excellent in output linearity through the use of a servo system employing a magnetoresistive element.

**CONSTITUTION:** A magnetoresistive element sensor 7 senses magnetic field induced by a current  $I_L$  to be measured flowing through a line 3 and produces a differential voltage corresponding to the strength of magnetic field. The differential voltage is fed through an error detecting section 17 to a compensation current control section 18 which feeds a compensation current  $I_S$  through a compensation current line 18' thus canceling the magnetic field induced by the current  $I_L$  to be measured. The voltage drop across a load resistor 18 due to the compensation current is then amplified at an output converting section 20 thus producing an output voltage.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

~~専用枠に記入をお願いします~~

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-92199

(43)公開日 平成7年(1995)4月7日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

庁内整理番号

FI

### 技術表示箇所

G O 1 R 15/20

H O 1 L 43/08

$$Z$$

G O 1 R 15/ 02

A

審査請求 未請求 請求項の数10 OL (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平6-176844

(22)出願日 平成6年(1994)7月28日

(31)優先権主張番号 特願平5-186313

(32)優先日 平5(1993)7月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 野添 利幸

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 田村 雅巳

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 發明者 笹之内 清孝

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

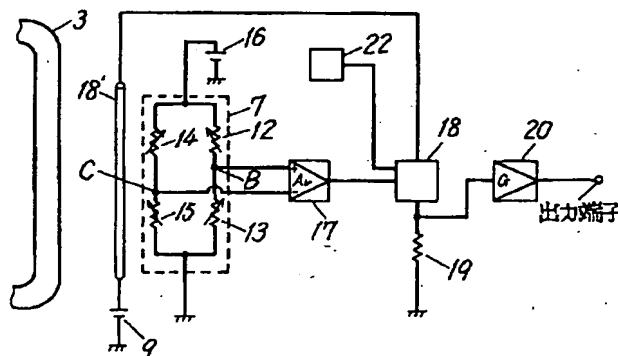
(74)代理人 弁理士 小鍛治 明 (外2名)

(54) 【発明の名称】 電流センサ

(57) 【要約】

【目的】 電流を検出する電流センサにおいて、磁気抵抗素子を用いてサーボ方式にすることで、出力直線性の高い高感度の電流センサを提供することを目的とする。

【構成】 被測定電流線 3 に流れる被測定電流  $I_L$  から生じる磁界を受けた磁気抵抗素子センサ 7 による磁界の強さに応じた差電圧が誤差検出部 17 を経て補償電流制御部 18 を制御して補償電流  $I_s$  を発生させて補償電流線 8 を流れ、被測定電流  $I_L$  による発生磁界をキャンセルするようにし、負荷抵抗 19 の補償電流による電圧降下で出力変換部 20 で増幅して出力電圧を得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁気抵抗効果を有する合金薄帯をつづら折りに複数回折り返した 2 つのエレメントを互いにその駆動電流が流れる方向が直交しかつブリッジを構成するように接続して絶縁基板上に形成され外部への引出し電極を設けた 2 つの磁気抵抗素子からなり前記エレメントの駆動電流方向に直交する磁界成分に応じた差動出力を得る磁気抵抗素子センサと、前記磁気抵抗素子の各エレメントの磁気検出方向に平行な磁界成分を含むバイアス磁界を与えるように前記磁気抵抗素子センサに近接させて設けた磁界発生手段と、前記磁気抵抗素子センサの磁気検出方向に平行な磁界成分を含む補償磁界を与えるよう前記磁気抵抗素子センサに近接して配置される補償電流線とから構成される検出部と、この検出部からの差動出力電圧を検出して制御電圧を発生する誤差検出部と、前記制御電圧に基づいて前記補償電流線に流れる補償電流を制御し補償電流を供給する補償電流制御部と、前記補償電流制御部の制御量に基づいて回路出力に変換増幅する回路部からなる電流センサ。

【請求項 2】 磁気抵抗素子センサの磁界検出方向に平行な磁界成分を含む磁界を与えるよう磁界抵抗素子センサの近くに被測定電流線を設けた請求項 1 記載の電流センサ。

【請求項 3】 磁気抵抗素子センサが補償電流線から受ける磁界を集束し、前記磁気抵抗素子センサに導く磁気ヨークを備えた請求項 1 記載の電流センサ。

【請求項 4】 電圧設定部と比較回路から構成され設定電圧と補償電流制御部の信号を比較して補償電流制御部の信号が設定電圧を越えた時優先的に補償電流制御部を制御して補償電流線に過大な電流が流入するのを防止すると共に外部に異常を知らせる監視回路部を備えた請求項 1 記載の電流センサ。

【請求項 5】 磁界発生源が永久磁石、コイル又は電流経路である請求項 1 記載の電流センサ。

【請求項 6】 磁気抵抗素子センサの 2 つの磁気抵抗素子は、磁界発生手段と補償電流線を有し、この補償電流線から受けるそれぞれの磁界の向きが正反対でかつ大きさが等しくなるように前記補償電流線を挟んで対称に配置されるかもしくはコの字に折り返した前記補償電流線の近傍に配置される請求項 1 記載の電流センサ。

【請求項 7】 磁気抵抗素子センサの 2 つの磁気抵抗素子は、磁界検出方向を同じくすると共に一方の前記磁気抵抗素子は磁界発生手段と補償電流線を有して前記補償電流線の近くに配置し他方の前記磁気抵抗素子は磁界発生手段を有して前記補償電流線から離れて配置する請求項 1 記載の電流センサ。

【請求項 8】 被測定電流磁界に垂直な方向に切り欠き漏れ磁界の主方向成分が磁気抵抗素子面に垂直な方向になるような 1 ヶ所以上の空隙を有し、前記空隙の 1 層以上が互いに接触しないように配置され被測定電流線およ

び検出部が外部から磁氣的に遮断されるように囲んで配置されるシールドを備えた請求項 1 記載の電流センサ。

【請求項 9】 被測定電流線は、平板状の良導体の上面に検出部および回路部を実装し、絶縁層を介してシールドされる請求項 2 記載の電流センサ。

【請求項 10】 被測定電流線の 2 ヶ所以上に比較的断面積の小さな切り欠きを有する請求項 2 記載の電流センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、大電流を検出する電流センサに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、エレクトロニクス技術の発展はめざましく、マイクロコンピュータの開発もさかんである。

【0003】一方、コンピュータ技術の進展によって、自動車、産業機器、民生機器においては、各機能の複雑な制御をコンピュータに行わせることでシステムの省エネルギー化、高機能化が可能となり、現在各分野あらゆる制御の電子化が実現している。

【0004】特に最近では、制御の電子化に伴ってアクチュエータ等のパワーモジュールを制御することが増加しており、限られたエネルギーの中で、省エネルギー化をも考慮して制御の緻密化、高度化を図るため、アクチュエータあるいは制御機器への供給エネルギー量を知ることが必要になってきている。

【0005】供給エネルギー量を知るには、制御情報として供給電流を測定することが必要不可欠であり、現在これを得る手段として、従来よりホール素子とフェライトなどのコアを組合わせた方式の電流センサが実現されている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来のホール素子応用の電流センサはホール素子の出力直線性は良いものの、測定したい電流の流れる電流線から発生する磁界は元々微弱でありホール素子の感度が低いため、ホール素子を効果的に機能させるためにフェライト等の高透磁率材料でできたヨークを組合わせて発生した磁界を集束させることが必要である。

【0007】このようにヨークを用いた場合、形状的に大きなものとなり、またヨークは電流線を取囲むように配置しなければならない上、磁性材を使用するためにその磁気特性にセンサとしての直線性やヒステリシス特性といった磁気特性が悪くなってしまい、ホール素子の長所である高い直線性を相殺することになり、センサとしての設計上あるいは取り付け上の制約が多い。

【0008】また、これを解決する手段としては低磁界においてホール素子よりも高い感度を有する強磁性磁気抵抗素子などを用いた電流センサが考えられているが、

磁気抵抗素子は感度は高いものの磁界に対する出力の変化が直線的でない。このため、使用に際しては、電流センサの出力変化の直線性を確保するために、バイアス磁界を調整することにより特性変化にできるだけ直線性をもたせて使用する必要がある。またこのような直線性のみならず、温度や経時に伴う特性劣化といった特性上の安定度については厳しいものがある。

【0009】また、磁気抵抗素子を用いた電流センサは、外乱磁界の影響を受けやすく、実用にあたっては磁性焼鈍などを施したパーマロイ等高透磁率材料でできたシールドケースで磁気シールドを施さねばならなかった。これらは、高透磁率ゆえにシールド効果は高いものの磁氣的に飽和しやすく、また高価であるので、非常に扱い難いものとなっていた。

【0010】本発明は上記問題点に鑑みなされたものであり、本発明は従来の電流センサよりも小型で高感度で直線性の良い電流センサを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の電流センサは、磁気抵抗効果を有する合金薄帯をつづら折りに複数回折り返した2つのエレメントを互いにその駆動電流が流れる方向が直交しかつブリッジを構成するように接続して絶縁基板上に形成され外部への引出し電極を設けた2つの磁気抵抗素子ブリッジと、前記エレメントの駆動電流方向に直交する磁界成分に応じた差動出力を得る磁気抵抗素子センサと、前記磁気抵抗素子の各エレメントの磁気検出方向に平行な磁界成分を含むバイアス磁界を与えるよう磁気抵抗素子センサに近接させて設けた磁界発生手段と前記磁気抵抗素子センサの磁気検出方向に平行な磁界成分を含む補償磁界を与えるよう前記磁気抵抗素子センサに近接して配される補償電流線とから構成される検出部と、この検出部からの差動出力電圧を検出して制御電圧を発生する誤差検出部と前記制御電圧に基づいて前記補償電流線に流れる補償電流を制御し補償電流を供給する補償電流制御部と前記補償電流制御部の制御量に基づいて回路出力に変換増幅する回路部からなるものである。

【0012】

【作用】この構成により、高感度で出力直線性が良く、温度や、経時に伴う特性劣化の少なく、外乱に対しても安定性の高い小型の電流センサが得られる。

【0013】

【実施例】以下、本発明の一実施例を示す図1～図20の図面を用いて説明する。

【0014】図1は本発明の一実施例による電流センサの構成を示すものである。図1(a)は本実施例における電流センサの外観斜視図で、電流センサは外部との接続コネクタ5を設けた樹脂等のケース1に収められケース1のトンネル部分4に被測定電流線3を通した後、ケース1ごとフランジ2で図示されないボディ等に取り付

け固定される。

【0015】図1(b)および図1(c)は図1(a)のa-a'およびb-b'間の断面図を示しており、補償電流線8はコイル状に巻回され、磁気抵抗素子センサ7と永久磁石6との所定の位置関係を保つように樹脂成形によって形成されたホルダー9で固定されている。10は磁性薄膜などからなり電流から発生した磁束を集束するための磁気ヨークである。また、100は、回路を構成する回路部品を搭載した回路基板である。

【0016】図2(a)は本実施例における検出部の構造を示す斜視図、図2(b)は図2(a)のc-c'間の断面図である。

【0017】この検出部は磁気抵抗素子11が絶縁基板11'に形成されてなる磁気抵抗素子センサ7が最大の感度を発揮するための適切なバイアス磁界を印加するように磁界発生手段である永久磁石6を磁気抵抗素子センサ7の近傍に配し、補償電流線8が磁気抵抗素子11に近接して配置されるよう構成されており、これらは図示されないホルダー9にて位置決めし固定されている。

【0018】図3は検出部の断面を示し動作を説明するもので、特に被測定電流と補償電流の流れる向きを示している。

【0019】図4は磁気抵抗素子センサ7の構造と印加される磁界の方向を示すものである。図4(a)に示す磁気抵抗素子センサ7は絶縁基板11'上に磁気抵抗素子薄帯を図のようにつづら折りに複数回折り返して磁気指向性を持たせた磁気抵抗素子11のエレメント12と13および14と15をそれぞれ図のように互いに電流の流れる方向を直交させて配置し、ブリッジ構成となるように接続して外部への引出し電極A、B、C、Dを設けて構成され、通常の永久磁石6によって矢印X方向に磁気バイアスされている。図4(b)は磁気抵抗素子11のエレメント12、13、14、15と、永久磁石6、被測定電流線3、および補償電流線8からそれぞれ受ける有効磁界ベクトルA、イおよびウと有効磁界ベクトルA、イの合成磁界ベクトルH1の相対関係を示したものである。

【0020】また、図4(c)は磁気抵抗素子センサ7の等価回路図である。図5はバイアス磁界印加角度、バイアス磁界の強さ及び磁気抵抗素子に対する印加磁界の強さによる磁気抵抗素子センサ7の特性を示す。

【0021】図6は磁気抵抗素子センサ7の動作を示す。図7は本電流センサの動作を説明する回路図である。

【0022】図8は本電流センサを用いた電流測定装置の回路構成図である。図9は本電流センサが動作している時の回路の各部の状態変化を示す。

【0023】図10は本電流センサの被測定電流に対する出力電圧特性を示す。図11は監視回路が動作した時の様子を示す。

【0024】図12は初期回路が動作した時の様子を示す。図13は外乱磁界に対する同相キャンセル方法の原理を説明する図で、同図(a)は2つの磁気抵抗素子11がそれぞれ磁界発生手段6と補償電流線8を伴ってそれぞれ被測定電流線3を挟むように対称に配置されている。

【0025】また同図(b)は2つの磁気抵抗素子11は磁界検出軸を同じくして配置され、これらのうち1つは磁界発生手段6と補償電流線8を伴って比較的被測定電流線3の近くに配置され、もう1つの磁気抵抗素子は磁界発生手段6を伴って比較的電流線から離れて配置される。

【0026】図14は図13(a)の構成による動作を示し、図15は図13(b)の構成による動作を示す。

【0027】図16は本発明による他の実施例における電流センサの構成を示す図で、本図においてc-c'線における断面図を図17に示す。本電流センサは、銅などの良導体からなる被測定電流線3の表面に回路配線板27を形成し、この回路配線板27の上面に回路部品および磁気抵抗素子、補償電流線などから構成される検出部30が実装され、磁気シールド25、26が回路配線板27を挟むように形成され構成されている。ここで、5は外部への接続コネクタである。

【0028】図18は磁気シールドに設けられる空隙の有無によるシールドの磁気的な動作を説明する図であり、図19はシールドを2層にした時の機能を説明する図である。また図20(a)はシールドの空隙の有無による電流-出力特性を示し、同図(b)は空隙の有無による外乱磁界による影響を示す図、同図(c)はシールドの層数による外乱磁界による影響を示す図である。

【0029】次に、各図に基づいて動作を説明する。図13(a)において、被測定電流線3を挟んで対称に配置されたA、B2つの磁気抵抗素子センサ11は、被測定電流による磁界30を受けて互いに逆相の出力を発生する。したがって、A、B間の差動出力をとるようにすれば、外乱磁界24が加わっても素子センサA、Bの出力は外乱磁界に対しては同相となるので差動出力に外乱磁界24の影響は現われない。したがって、図14に示すように、外乱磁界の影響を排除できる。

【0030】また、この時磁気抵抗素子センサA、Bはそれぞれ補償電流線8を備えているので、素子の動作点は常に固定され、安定した精度を維持できる。また、素子A、B間の距離を小さくするほど外乱磁界に対する性能が向上する。

【0031】図13(b)は、もう一つの同相キャンセルの方法であり、被測定電流線に比較的近くに配置された磁気抵抗素子センサAと、比較的離して配置された磁気抵抗素子センサBは被測定電流線3に流れる電流から発生する磁界30に対して同相で大きさの異なる出力を得るように設定している。この時外乱磁界24に対して

はA、Bの出力は同相、同じ大きさになるので、A、B間の差動出力を得るようにすれば、外乱磁界24の影響を排除した出力とすることができる。これらの様子を図15に示す。また、この時素子Aのみ補償電流線を備えているので、素子の動作点は常にBのそれに追従するように動作するので、素子Bの動作点が極端に変化しない範囲で高い精度を維持することが可能である。この方法は素子A、B間の距離を近づけるにつれて外乱磁界に効果があるものの、同時に被測定電流磁界の素子間の差も小さくなる為、実現できる同相キャンセル効果としては限界がある。しかし、補償電流線が1つで実現できるので、材料コスト的には有利である。

【0032】次に、図16において、検出部、回路部および、シールドはバスバーなどの金属製の強固な被測定電流線を骨格として配備される。本図c-c'断面を図17に示す。

【0033】この構成により、高強度、高信頼性を実現でき、また寸法変化も小さく抑えられるので、精度的にも非常に有利である。また、表面を樹脂材料等でモールドすればケースや補強部材が不要であるので小型化&低コスト化が可能である。またバスバーには2ヵ所以上部分的に断面積の異なる切り欠き部28を設けてある為、本センサが取り付けられてもバスバーにかかる機械的なストレスは殆ど切り欠き部28で吸収される為、バスバー全般がストレスによってたわんだり、振れたりすることなく、実装される回路部品を保護する。磁気シールド25、26は、図17に示すように被測定電流線3と、磁気抵抗素子センサ7および補償電流線8などから構成される検出部を取囲むように配線板27を挟んで配置固定され、外乱磁界から磁気的に遮断する役目をする。

【0034】この時、図18(a)、(b)に示すようにシールドにギャップがある場合と無い場合では同図(c)に示すようにシールドを構成する磁性体内部の磁束密度に大きな違いがあり、ギャップが無い場合、シールドの磁束密度Bの変化は磁界Hに対して急峻で、被測定電流が流れて磁界H<sub>1</sub>が発生している時、外乱磁界H<sub>2</sub>が印加されるとシールドの動作点が直線性の悪い領域まで持上げられて特性が悪くなるばかりでなく、印加される磁界によってはシールドが完全に磁気的に飽和してしまい、シールドの機能が失われる。

【0035】一方、同図(b)のように空隙29がある場合、シールドのH-B特性は同図(c)に示すように傾きが緩慢になり、印加される磁界Hに対する飽和までの余裕ができるばかりでなく、変化の直線部分も増加する為、特性は損なわれずに大きな磁界に対しても安定したシールド効果を発揮することができる。

【0036】また、空隙29を設ける位置によっては、発生する漏れ磁界30、磁気抵抗素子センサ7に影響する。シールドに用いる材料がヒステリシスの大きい磁性材料の場合、センサの出力にヒステリシスを発生させ、

精度を悪化させてしまう。

【0037】しかし、同図(b)のように漏れ磁界30の主方向成分が磁気抵抗素子センサ7の非磁界検出方向即ち素子面に垂直になるように空隙を設ければ、シールド材料のヒステリシスによる残留磁界の影響を受けないので、センサの特性が損なわれることは無い。本実施例では、配線板27の板厚を利用して空隙29を作りながら、シールドを強固に固定している。

【0038】また、図19(a)に示すように複数のシールドを空隙31を確保しながら設けることによって、10 外乱磁界 $H_{ex}$ に対するシールド効果を更に向上させることができるばかりでなく、外側のシールド26は主に外乱磁界に働き、内側のシールド25は主に被測定電流磁界に働くという異なる役割を持たせることによって、同図(b)のようにそれぞれのシールドの動作点はより低磁界側にシフトするので、かかる磁界の許容量が増加し、より大きな被測定電流、外乱磁界に対しても精度の良いセンサとすることができる。

【0039】これら、一連の効果を図20に示す。以上のような構成にすれば、従来外乱磁界の影響を排除する20 為にパーマロイやアモルファスといった高価な磁性材料を用いなければならなかった磁気シールドが、非常に安価な例えば珪素鋼板などの材料を用いることで、同等以上のシールド効果を得て、高性能なセンサとすることができる。

【0040】なお、電流センサとして使用される環境に応じて同相キャンセル方式とシールドを併用しても良いし、それぞれ単独で用いても良い。

【0041】次に各図に基づいて動作を説明する。磁気抵抗素子11の要素12, 13, 14, 15はそれぞれ図5(a)に示すように磁界に対する抵抗変化を持ち、バイアス磁界が無い場合の印加磁界に対する抵抗変化は同図エのような特性になる。

【0042】また素子に流れる電流の方向に直交するようにバイアス磁界を印加して行くと、バイアス磁界強度が大きくなるにつれて印加磁界に対する抵抗変化特性は図5(a)のオーカのように変化する。なお抵抗変化は通常、ヒステリシス性を伴う。バイアス磁界は図4

(a)に矢印Xで示すように各磁気抵抗素子11の要素12, 13, 14, 15に均等かつ45度方向に40 印加するので、要素12, 13, 14, 15の感度は図5(a)においてバイアス磁界印加角度45度における特性にしたがう。

【0043】したがって磁気抵抗素子11に対する印加磁界を一定、例えば本電流センサのように動作中の印加磁界は被測定電流線と補償電流線から受ける磁界が互いに打消し合うように動作させて印加磁界をゼロとして一定とした場合、バイアス磁界の大きさと感度の関係は図5(b)のようになる。

【0044】この感度特性において磁気抵抗素子11の50

感度を最大にするバイアス磁界の値が $H_0$ となるように磁気抵抗素子センサ7と永久磁石6の距離を設定する。

【0045】このようにバイアス磁界が印加された状態で図3に示す被測定電流線3に電流 $I_L$ が流れた時、被測定電流線3の回りには右ネジの法則にしたがう磁界が発生し、この磁界は近傍に配置された磁気抵抗素子センサ7を貫く。

【0046】この時、磁気抵抗素子センサ7を貫く磁界 $I$ とバイアス磁界 $A$ は図4(b)に示すように互いに直交しており、実際は合成磁界 $H_1$ となって各要素12, 13, 14および15に働き、各要素12, 13, 14, 15の抵抗を変化させる。

【0047】各要素12, 13, 14, 15の結線は図4(c)のようになっているおり、被測定電流線3の電流 $I_L$ に対する抵抗変化と端子電圧は図6(a)～

(c)のようになり、B, C端子より被測定電流から受ける磁界 $I$ に応じた差動電圧を得る。

【0048】ところで、被測定電流がゼロの時は、磁気抵抗素子センサ7からの差電圧は理想的にはゼロである。しかし、現実には磁気抵抗素子ブリッジの要素12, 13, 14, 15の不揃い等によって若干のオフセット電圧が生じている。

【0049】ここで、図7に示す誤差検出部17で磁気抵抗素子センサ7の差電圧のみを検出し、この差電圧を元に補償電流制御部18を制御して負荷抵抗19を用いて補償電流を発生させ、補償電流線18'にこれを流すことにより図4に示すように補償磁界 $U$ を発生させれば、被測定電流から受ける磁界 $I$ と相殺され、磁気抵抗素子ブリッジ間の差電圧をゼロに近づけるようにすることができる。

【0050】この時、例えば負荷抵抗19の両端に発生する電圧をモニターし適度に増幅すれば、被測定電流 $I_L$ に対する出力 $V_0$ が得られる。

【0051】この一連の動作を行えば、磁気抵抗素子センサ7はその出力端子B, C間の電圧をモニターしても差電圧は被測定電流が流れていない時のようにほぼゼロに近くまで動作していないように見える。

【0052】このことは、外部から磁界を受けても磁気抵抗素子センサ7の特性が動作点H。(図5(a)参照)から殆ど動いていないことを示しており、磁気抵抗素子11の持つ非線形な特性がセンサとしての特性に全く関与せず、実際の被測定電流 $I_L$ と出力電圧の関係を図10に示すようにほぼ線形にならしめたことを示す。

【0053】つぎに被測定電流が流れてから、出力電圧を得るまでの動作を図7に基づいて理論的に説明する。

【0054】まず、数式上の各変数について、以下のよう

$I_L$  : 被測定電流 (A)

$\alpha_{Gauss}$  : 磁気抵抗素子センサが被測定電流から受ける有効磁界の変換係数 (Gauss/A)

$I_s$  : 補償電流 (A)  
 $\alpha_{H(S)}$  : 磁気抵抗素子センサが補償電流から受ける  
 有効磁界の変換係数 (Gauss/A)  
 $R_s$  : 磁気抵抗素子の磁界抵抗変換係数 (磁気抵  
 抗素子の感度)  
 $(1/\text{Gauss})$   
 $\Delta V$  : 磁気抵抗素子センサのオフセット電圧  
 (V)  
 $V_{\alpha}$  : 磁気抵抗素子センサへの供給電圧 (V)  
 $R_s$  : 負荷抵抗 ( $\Omega$ )  
 $A_v$  : OPアンプの開ループゲイン

$$V_{B-C} = B \cdot R_{(H)} \cdot 1/2 V_{\alpha} - B \cdot (-R_{(H)}) \cdot 1/2 V_{\alpha} + \Delta V$$

(1), (2), (3) より (4) は、

$$V_{B-C} = B \cdot R_{(H)} \cdot V_{\alpha} + \Delta V = \{ \alpha_{H(L)} \cdot I_L - \alpha_{H(S)} \cdot I_s + H_{ex} \} \cdot R_{(H)} \cdot V_{\alpha} + \Delta V$$

よって負荷抵抗  $R_s$  にかかる電圧  $V_o'$  は

$$V_o' = A_v \cdot (V_{B-C} + V_{os}) + V_s$$

$$= A_v \cdot \{ (\alpha_{H(L)} \cdot I_L - \alpha_{H(S)} \cdot I_s + H_{ex}) \cdot R_{(H)} \cdot V_{\alpha} + \Delta V + V_{os} \} + V_s$$

$$\cdot V_{\alpha} + \Delta V + V_{os} \} + V_s \quad (V_s: \text{磁気抵抗素子センサ} \quad \times 20 \quad \text{【数1】})$$

$$\left( 1 + \frac{A_v \cdot \alpha_{H(S)} \cdot R_{(H)} \cdot V_{CC}}{R_s} \right) \cdot V_o' = A_v \cdot (\alpha_{H(L)} \cdot I_L \cdot R_{(H)} \cdot V_{CC} + H_{ex} \cdot R_{(H)} \cdot V_{CC} + \Delta V + V_{os}) + V_s$$

【0056】よって  $V_o'$  は (数2) となり

【0057】

※の中点バイアス電圧)

ここで  $I_s = V_o' / R_s$  だから

$$V_o' = A_v \cdot \{ (\alpha_{H(L)} \cdot I_L - \alpha_{H(S)} \cdot V_o' / R_s + H_{ex}) \cdot R_{(H)} \cdot V_{\alpha} + \Delta V + V_{os} \} + V_s$$

これより  $V_o'$  についてまとめると (数1) となり

【0055】

【数1】

★【数2】

★

$$V_o' = \frac{\frac{(\alpha_{H(L)} \cdot I_L + H_{ex}) \cdot R_s}{\alpha_{H(S)}} + \frac{R_s}{\alpha_{H(S)} \cdot R_{(H)} \cdot V_{CC}} \cdot (\Delta V + V_{os}) + \frac{R_s}{A_v \cdot \alpha_{H(S)} \cdot R_{(H)} \cdot V_{CC}} V_s}{1 + \frac{R_L}{A_v \cdot \alpha_{H(S)} \cdot R_{(H)} \cdot V_{CC}}}$$

【0058】したがって電流センサの出力は、 $V_o = G$

・  $V_o'$  より (数3) で与えられる。

☆【0059】

☆【数3】

$$V_o = G \cdot \left[ \frac{\frac{(\alpha_{H(L)} \cdot I_L + H_{ex}) \cdot R_s}{\alpha_{H(S)}} + \frac{R_s}{\alpha_{H(S)} \cdot R_{(H)} \cdot V_{CC}} \cdot (\Delta V + V_{os}) + \frac{R_s}{A_v \cdot \alpha_{H(S)} \cdot R_{(H)} \cdot V_{CC}} V_s}{1 + \frac{R_L}{A_v \cdot \alpha_{H(S)} \cdot R_{(H)} \cdot V_{CC}}} \right]$$

【0060】この (数3) によれば、出力電圧  $V_o$  はあたかも  $\alpha_{H(L)} / \alpha_{H(S)}$  倍された被測定電流  $I_L$  が負荷抵抗  $R_s$  に流れて発生する電圧降下であるかのようになる。またオペアンプの大きなループゲインによってバイアス電圧等もほぼゼロに圧縮され、被測定電流  $I_L$  に対する出力はゼロボルトからの変化になることを示す。

【0061】そして何より、出力電圧を決定する項に磁気抵抗素子11の特性が直接関与しないので、感度が多少変化しようが特性が直線的でなかろうが、出力電圧には殆ど影響しないことを示している。

【0062】また、オフセットやドリフトに関する影響

\*  $V_{os}$  : OPアンプ入力オフセット電圧 (V)

$G$  : 出力変換部のゲイン

$H_{ex}$  : 外乱磁界

ところで、磁気抵抗素子エレメント12, 13, 14, 15が被測定電流から受ける磁界  $B_L$  と補償電流から受ける磁界  $B_s$  はそれぞれ、

$$B_L = \alpha_{H(L)} \cdot I_L \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$B_s = \alpha_{H(S)} \cdot I_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

これより、合成磁界  $B$  は

$$10 \quad B = B_L - B_s + H_{ex} \quad \dots\dots\dots (3)$$

\* 一方、磁気抵抗素子センサ7から得られる差電圧は

..... (4)

については負荷抵抗  $R_s$  を小さくし、 $\alpha_{H(S)}$ ,  $R_{(H)}$ ,  $V_{\alpha}$  を大きくすれば、低く抑えられることを示している。特に  $\alpha_{H(S)}$  は、例えば補償電流線8を磁気抵抗素子センサ7に近づけるかあるいは、コイルのように形成してアンペアターンを稼ぐか、もしくは磁気ヨーク10を用いて磁界を集束すれば容易に大きくすることができる。

【0063】しかし、こうすると同時に本来の出力である項の値も小さくなってしまふ。そこで、 $\alpha_{H(S)}$  を大きくすると同時に  $\alpha_{H(L)}$  も大きくして  $\alpha_{H(L)} : \alpha_{H(S)}$  の比を変化させなければ、オフセットやドリフト等の誤差分のみ小さくでき、本来の電流測定出力との S/N 比を高

くことができ、温度や経時変化に対して安定した動作で特に大きな電流を精度良く検出できる。

【0064】また補償電流  $I_s$  と被測定電流  $I_L$  の関係即ち  $\alpha_{H(s)}$  と  $\alpha_{H(L)}$  の関係は補償電流線 8 の形状、被測定電流線 3 の形状および両者の距離および磁気抵抗素子センサ 7 の位置で一義的に決定されるので、例えば大きな被測定電流  $I_L$  を小さな補償電流  $I_s$  で制御したいなど、使用目的に応じて形状や位置関係を設計すれば幅広い電流測定に対応できる。

【0065】なお、小電流も精度良く検出したい場合、 $\alpha_{H(L)}$  を稼ぐ方法、例えば被測定電流線 3 をもっと磁気抵抗素子センサ 7 に近づけるか、磁気ヨーク 10 などで被測定電流  $I_L$  から発生する磁界を集束して磁気抵抗素子センサ 7 へ導く等の方法を取れば可能である。

【0066】また、負荷抵抗 19 を、例えば両端に生じる電圧降下が小さくなるように値を小さくとり、出力変換部で増幅するようにすれば、誤差検出部 17 のオペアンプの周波数的な自由度が向上し、比較的高い周波数特性を持った電流センサとすることもできる。

【0067】また、小電流用の被測定電流線 3 と大電流用の被測定電流線 3 を設け、回路で出力判別切換えを行わせれば、小電流から大電流までレンジの広い電流センサを構成することが可能である。

【0068】なお、被測定電流による磁界  $\alpha_{H(L)} \cdot I_L$  と外乱磁界  $H_{ex}$  は (数 3) から明らかなように、これらは同義であり、センサとしての性能を向上する上で、外乱磁界  $H_{ex}$  を低減する必要がある。

【0069】つぎに本発明の一実施例における電流センサの回路構成を図 8 に示す。図 8 の X1 ~ X4 はオペアンプ、R1 ~ R4 は抵抗、C1 はコンデンサを示している。

【0070】図 8 において被測定電流線 3 に流れる被測定電流  $I_L$  から生じる磁界を受けた磁気抵抗素子 11 は受ける磁界の強さに応じた差電圧を発生する。この差電圧は B、C 端より誤差検出部 17 を経て補償電流制御部 18 を制御して補償電流  $I_s$  を発生する。補償電流  $I_s$  は補償電流線 8 を流れ、被測定電流  $I_L$  による発生磁界をキャンセルするように働く。

【0071】この時負荷抵抗 19 には補償電流が流れることによる電圧降下が発生し、この電圧降下を出力変換部 20 にて適宜増幅して出力電圧を得る。この時の各部の動作の様子を図 9 (a) ~ (e) に示し、得られた被測定電流に対する出力電圧の特性を図 10 に示す。

【0072】また図 8 の 22 は監視回路部で、例えば磁気抵抗素子センサ 7 の故障や断線等で誤差検出部 17 の出力が振切ってしまう、最悪時は補償電流線 8 に過電流が流れ続けて部品等が損傷する可能性もあり、これを避けるため、比較回路であるオペアンプ X3 は負荷抵抗 19 の発生電圧を監視し、電圧設定部である抵抗 R8 と R9 による設定電圧を越えた時、トランジスタ Tr2 をオ

ンして補償電流制御部 18 のトランジスタ Tr1 をオフさせる動作を行う。

【0073】これによって負荷抵抗 19 の発生電圧が設定電圧よりも小さくなった時点でトランジスタ Tr1 のオフ動作を解除し、補償電流  $I_s$  は再び流れ始めて抵抗 R9 の発生電圧は上昇する。

【0074】以降、図 11 のようにトランジスタ Tr1 のオン/オフ動作を繰返して流れる電流 (この電流を受けて R5 に発生する電圧を図 11 (a) に示す) の制限を行う一方、出力変換部 20 を通じて出力に異常波形 (図 11 (b) に示す) を送る。このオン/オフの繰返し周期は監視回路部 22 と補償電流制御部 18 とのループを形成するオペアンプやトランジスタのカットオフ周波数に相当し、これを例えば f-V 変換するような外部のユニットに接続することにより異常判定処理を行うことができる。

【0075】また、図 8 の 23 は初期化回路部である。ここで、磁気抵抗素子 11 のエレメント 12, 13, 14, 15 はその特性に図 5 (a) のキのようなヒステリシスがあり、磁気抵抗素子センサ 7 の特性としてばらつき可能性があり、これが電流センサ出力のばらつきとなって表れる。

【0076】したがって、図 12 に示すように初期化回路部 23 によって電源 9 投入時から一定期間、補償電流制御部 18 を制御し、かつ監視回路部 22 を付随して働かせることにより補償電流線 8 に一定期間初期化電流を流し、磁気抵抗素子センサ 7 の各エレメント 12, 13, 14, 15 に初期化磁界をかけることで、磁気抵抗素子エレメント 12, 13, 14, 15 の磁気的特性を描え動作点の初期化を行うことで、ヒステリシスの出力電圧への影響を低減することができる。

【0077】なお、磁気抵抗素子センサ 7 にバイアス磁界を与えるには、永久磁石 6 に代わってコイルや電流経路を設け、これに電流を流しても良い。

【0078】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は小型で高感度で出力の直線性が良く、温度や経時に伴う特性劣化の少ない電流センサを提供可能とするものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 (a) 本発明の一実施例における電流センサの斜視図

(b), (c) 同断面図

【図 2】 (a) 同要部である検出部の斜視図

(b) 同要部である検出部の断面図

【図 3】 同要部である検出部の断面図

【図 4】 (a) 同要部である磁気抵抗素子センサの斜視図

(b) 同要部である磁気抵抗素子センサの部分上面図

(c) 同要部である磁気抵抗素子センサの等価回路図

【図 5】 同要部である磁気抵抗素子センサの特性図

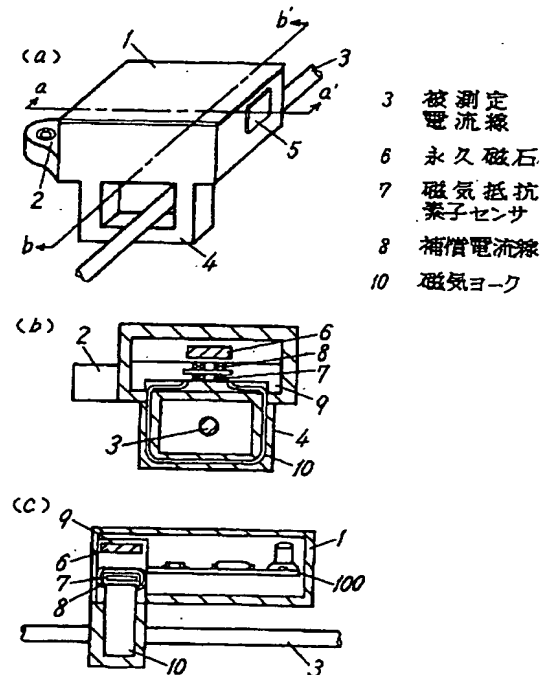


- 【図6】同要部である磁気抵抗素子センサの動作説明図  
 【図7】同電流センサの回路図  
 【図8】同電流測定装置の回路図  
 【図9】同動作説明図  
 【図10】同出力電圧特性図  
 【図11】同要部である監視回路の動作説明図  
 【図12】同要部である初期回路の動作説明図  
 【図13】同外乱磁界に対する同相キャンセルの原理を説明する図  
 【図14】同同相キャンセルの動作を説明する図  
 【図15】同同相キャンセルの動作を説明する図  
 【図16】本発明の他の実施例における電流センサの上  
 面図  
 【図17】同断面図  
 【図18】同シールドの効果を説明する図  
 【図19】同シールドの効果を説明する図  
 【図20】同シールドの効果を説明する図  
 【符号の説明】  
 3 被測定電流線  
 6 永久磁石

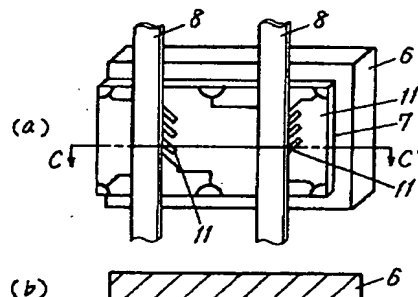
- \* 7 磁気抵抗素子センサ  
 8 補償電流線  
 10 磁気ヨーク  
 11 磁気抵抗素子  
 11' 絶縁基板  
 12~15 エレメント  
 17 誤差検出部  
 18 補償電流制御部  
 18' 補償電流線  
 19 負荷抵抗  
 20 出力変換部  
 22 監視回路部  
 23 初期化回路部  
 24 外乱磁界  
 25, 26 シールド  
 27 配線板  
 28 切り欠き部  
 29 空隙  
 30 漏洩磁界

\* 20

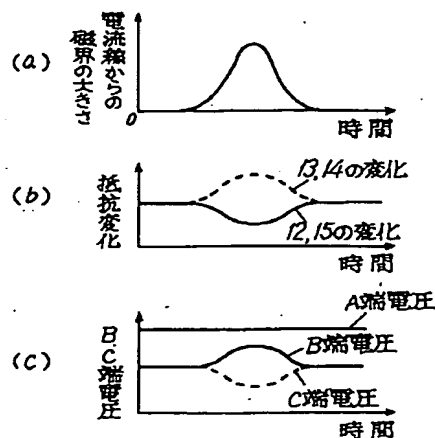
【図1】



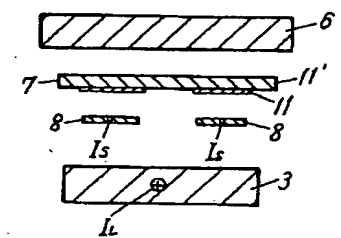
【図2】



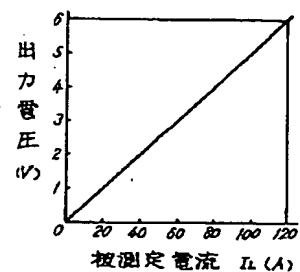
【図6】



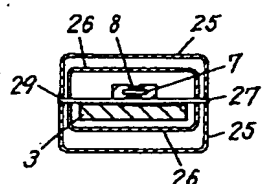
【図3】



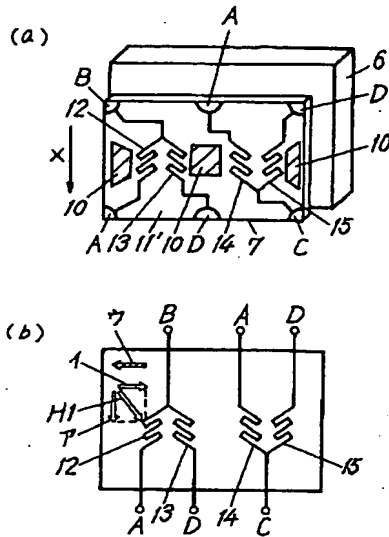
【図10】



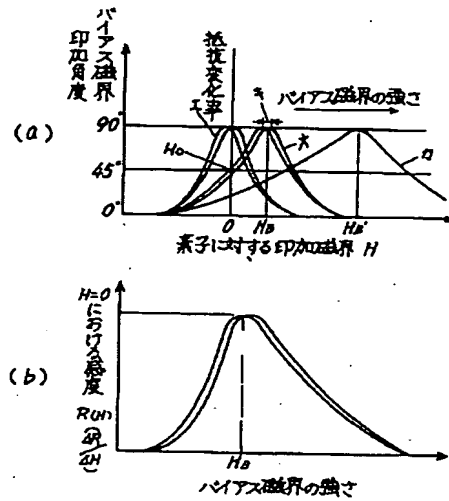
【図17】



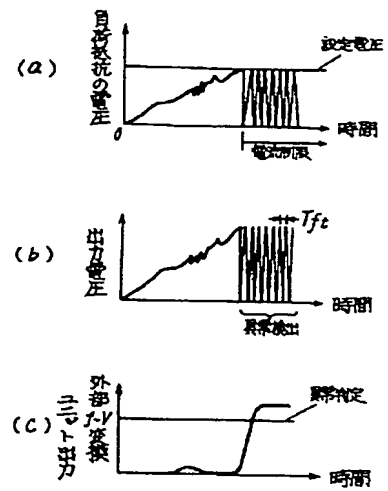
【図4】



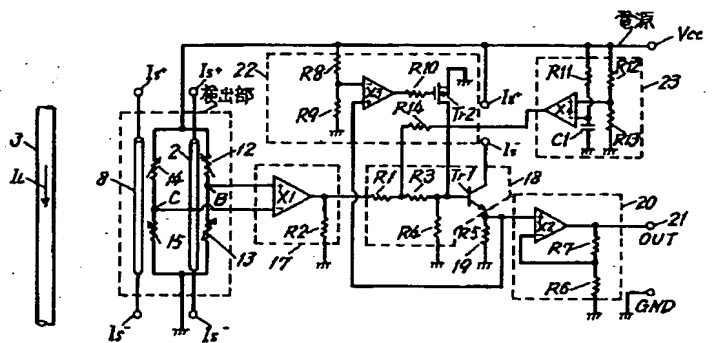
【図5】



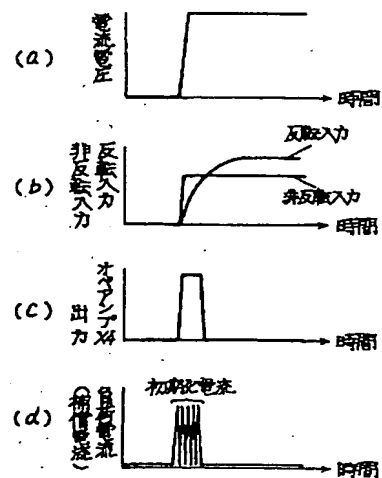
【図11】



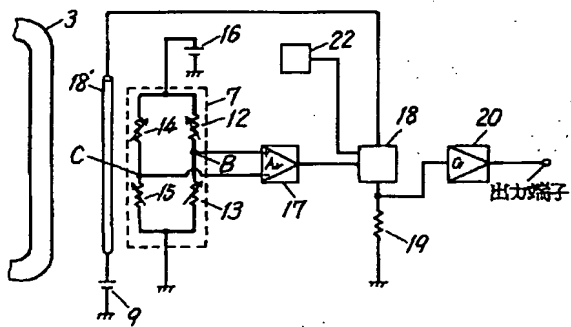
【図8】



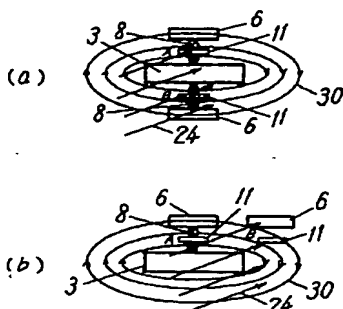
【図12】



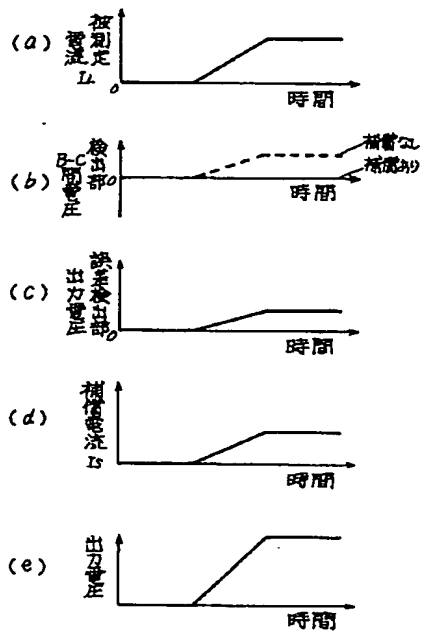
【図7】



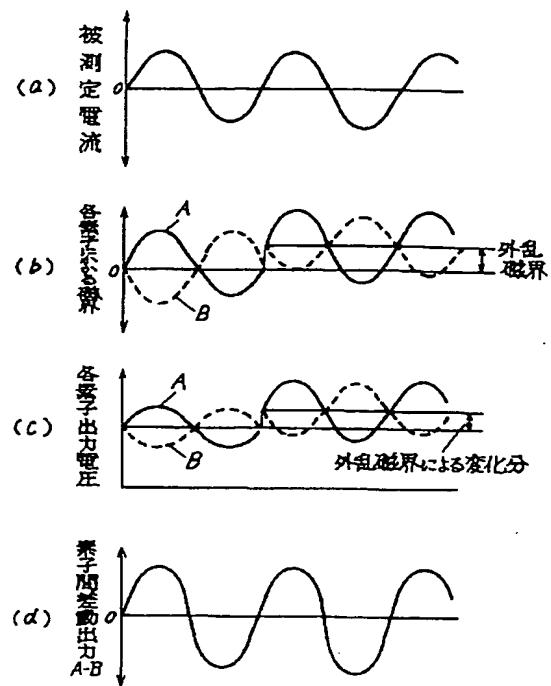
【図13】



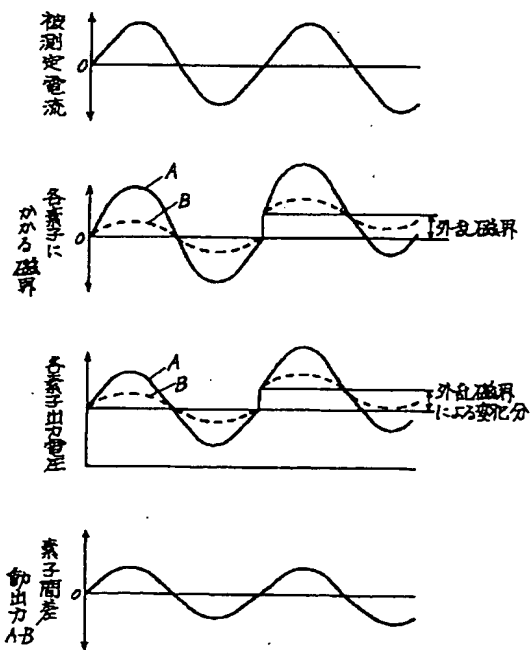
【図 9】



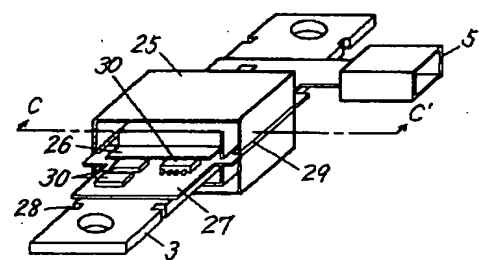
【図 14】



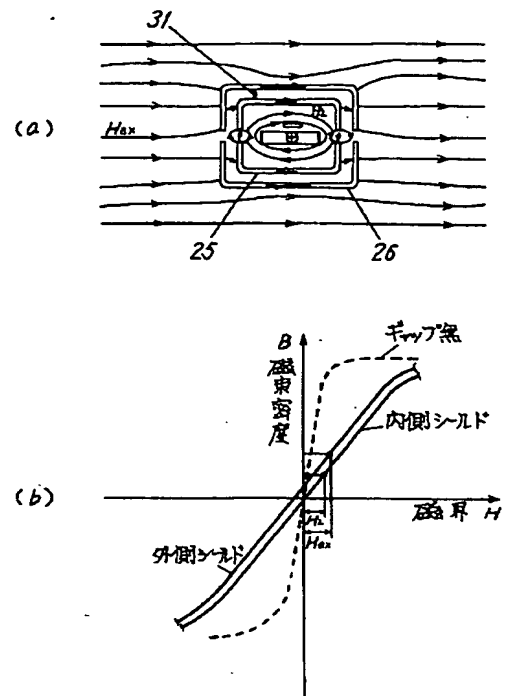
【図 15】



【図 16】



【图 19】



【図20】

